

MARTS 2021  
SUND & BÆLT HOLDING A/S

# KATTEGATFORBINDELSE - KYST-KYST ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

ELEMENTPRODUKTIONSPLADSER

FAGNOTAT





MARTS 2021  
SUND & BÆLT HOLDING A/S

## KATTEGATFORBINDELSEN - KYST-KYST ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

ELEMENTPRODUKTIONSPLADSER

FAGNOTAT

PROJEKTNR.

A134385

DOKUMENTNR.

A134385-HU-NOT-001

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

3. marts 2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

JGIM

KONTROLLERET

SOLA, TOOL

GODKENDT

PTR



## Indhold

1	Indledning	7
2	Konklusion	8
2.1	Elementfabrikken i Rødby	8
2.2	Andre placeringer af en elementfabrikationsplads	8
2.3	Behov for videre undersøgelser	8
3	Forudsætninger	10
3.1	Forudsatte tidsplaner	10
3.2	Mængder	10
3.3	Pladsbehov boret tunnel elementer	11
3.4	Pladsbehov broelementer	11
3.4.1	Byggetakt	14
3.5	Data	14
3.6	Elementfabrikkens egnethed for anvendelse til Kattegat	15
3.6.1	Sænketunnel	15
3.6.2	Elementer til boret tunnel	16
3.6.3	Elementer til broer	16
4	Andre potentielle pladser	18
4.1	Behov for ekstra produktionspladser	18
4.2	Andre muligheder	18



# 1 Indledning

Nærværende fagnotat udgør en del af forundersøgelserne for en fremtidig Kattegatforbindelse.

Formålet med fagnotatet er at fremkomme med en overordnet vurdering af arealbehov samt andre krav til en plads for elementproduktion af hhv. tunnel- og broelementer. Endvidere at vurdere egnetheden og kapaciteten af Femernforbindelsens elementproduktionspladsplads i Rødby.

De principielt forskellige alternativer der vurderes er:

1. Alternativ 1: Bro fra kyst til kyst. Længde ca. 40 km.
2. Alternativ 2: Bro fra Samsø til Jylland, sænketunnel fra Sjælland til Samsø. Længde ca. 20 km for hver.
3. Alternativ 3: Sænketunnel både fra Sjælland til Samsø og fra Samsø til Jylland. Samlet længde ca. 40 km.
4. Alternativ 4: Boret tunnel fra kyst til kyst. Længde ca. 40 km.

I hvert alternativ afhænger den eksakte længde af den valgte korridor, men forskellene i længde vurderes at have mindre betydning for arbejdsarealernes størrelse. Ligeledes ses der bort fra forskellene mellem pladsbehov for 4+2, 4+1 og 4+0, da udstrækningen af elementerne er mindre betydende end krav til arealer mellem elementerne. Specielt for sænketunnelen gælder, at der kun er plads til to elementer i hver tørdok i Rødby uanset om det er 4+2 eller 4+0.

Pladsbehov for midlertidige og permanente arbejdsarealer i ilandføringszonerne er behandlet i et særskilt fagnotat (Dokumentnr: A134385-HU-NOT-002).

## 2 Konklusion

### 2.1 Elementfabrikken i Rødby

I Alternativ 1 vil fabrikationen af underbygningerne (pylonfundamenter, eventuelle ankerblokke, fundamenter og pilleskafter for både højbro og lavbro) og af overbygningerne til lavbroen (100 eller 60 m fag) kunne henlægges til elementfabrikationspladsen i Rødby efter at den er blevet ombygget til produktion af broelementer.

Fabrikken i Rødby har 6 produktionslinjer, hvilket anses for tilstrækkeligt til Alternativ 2, idet anlægsperioden for sænketunnelen vil blive omtrent den samme som for Femern tunnelen. Arbejdspladsen for lavbroen (både underbygning og overbygning) vurderes at kræve et areal på 30 ha, hvilket kan rummes indenfor VVM redegørelsens forventede areal til 8 produktionslinjer for tunnelementer.

I Alternativ 3 anses det for fordelagtigt at udbygge Rødby anlægget til 8 produktionslinjer, hvilket der er plads til og hvilket har været medtaget i VVM undersøgelsen. Selv med denne udbygning bliver produktionstiden omtrent 50% længere end for Femern tunnelen. Da produktionstiden for Femern Bælts tunnelementer skønnes at vare 2,5 år, forlænges anlægsperioden med 1,25 år. Anlægget af de to ekstra produktionslinjer vurderes ikke at forlænge anlægsperioden, idet det kan ske i det første år, hvor den væsentligste aktivitet er detailprojektering.

Hvis en boret tunnel – Alternativ 4 – vælges, anses det ikke for formålstjenligt at anvende Rødby anlægget, da den specialiserede produktion af betonelementer til beklædning af en boret tunnel langtfra kan udnytte det store areal og transport og omladning af mange små elementer bliver uforholdsmæssigt dyr.

### 2.2 Andre placeringer af en elementfabrikationsplads

Der er ikke foretaget en egentlig vurdering af andre mulige elementproduktionspladser; men en udnyttelse af faciliteterne på Masnedø anvendt ved produktionen af broelementer til den nye Storstrømsbro, samt de nye havnefaciliteter sydvest for Kalundborg anses for mulige. Disse og andre mulige placeringer er omtalt i afsnit 4.2.

### 2.3 Behov for videre undersøgelser

I en følgende fase anbefales undersøgt de økonomiske konsekvenser af forskellige valg af produktionspladser til Kattegat forbindelsen, men dette vil kræve kendskab til fordelingen af prisen på Rødby anlæggets forskellige dele: Tørdokke, haller, kontor- og mandskabsfaciliteter, kajanlæg, anlæg til betonproduktion, adgangsveje, forsyning af vand, gas og el.



Der kræves en nærmere vurdering af, om Rødby anlægget kan opdeles på en sådan måde, at flere entreprenører kan arbejde samtidigt uden problemer. Mulige konflikter kunne for eksempel være anvendelse og vedligehold af fælles adgangsseje

Endvidere skal det nøje vurderes, hvorvidt en ny VVM- undersøgelse for Rødby er påkrævet eller om det er tilstrækkeligt at udarbejde et tillæg til den eksisterende. Herunder skal det vurderes, om der er plan- eller miljømæssige forhold som vil være en begrænsning for den nye produktion. Hvis dette er tilfældet, skal der foretages en nøjere vurdering af alternativer: Lindø, Kalundborg Vesthavn, Aarhus Havn, Grenå Havn og Nyborg Havn.

## 3 Forudsætninger

### 3.1 Forudsatte tidsplaner

Uanset valg af alternativ forudsættes, at KKØ og KKV udføres af hver sin entreprenør, hvorimod det ikke anbefales at have forskellige entreprenører på underbygning og overbygning for en bro, fordi de to dele skal følge tæt efter hinanden, da en enlig bropille er mere sårbar overfor is og skibsstød end en bropille med ekstra vægt fra overbygningen. For en sænketunnel gælder dette argument ikke, så udgravning og tilbagefyldning kan udføres i en særskilt entreprise, således som det også gøres ved Femern Bælt.

Tidsplaner for Alternativ 1 – 3 er vurderet ud fra Femern Bælt, idet hver af etaperne KKØ og KKV har en længde omtrent som Femern Bælt.

Broforslaget til Femern Bælt kunne udføres i løbet af 6 år med hovedfag som skråstagsbro. Dette skønnes også muligt i Alternativ 1, selvom de to entreprenører skal ombygge eller nyanlægge arbejdspladser, idet dette også var forudsat i Femern Bælt tidsplanen. Hvis hovedbroen udføres som en hængebro, vurderes det at anlægsperioden bliver 7 år, da denne brotype kræver fuldstændig færdiggørelse af pyloner, før hovedkabler kan monteres og først når disse er færdige, kan montage af brodrager påbegyndes, mens i en skråstagsbro kan pyloner færdiggøres, mens montage af brodrager og skråstag er påbegyndt.

Sænketunnelen under Femern Bælt påregnes konstrueret i løbet af 8 år, hvoraf 2 år går til detailprojektering og anlæg af Rødby arbejdsplads med 6 tørdokke. Hvis KKØ er den eneste tunnel (Alternativ 2), skønnes anlægsperioden at kunne reduceres til 7 år, idet 1 år anses for tilstrækkeligt til detailprojektering. Produktionen af tunnelelementer påregnes at tage 2,5 år som ved Femern Bælt.

Hvis både KKØ og KKV bliver sænketunneler, forudsættes det at den ene entreprenør udbygger Rødby anlægget med to ekstra tørdokke, så hver entreprenør råder over 4 tørdokke. Dette vil medføre en 50% øget produktionstid for tunnelelementerne, så perioden bliver 3,75 år i stedet for 2,5 år. Anlægget af de to nye tørdokke vurderes at kunne udføres indenfor det første år, da infrastruktur og fremskaffelse af vand og el er på plads. Anlægsperioden skønnes derfor i dette tilfælde at blive 8 år.

I Alternativ 4 skal hver tunnelboremaskine bore 20 km, hvilket skønnes at give en anlægsperiode på 8 år; de to første til produktion af 6 tunnelboremaskiner, de fem næste til borearbejderne og det sidste til færdiggørelsesarbejder.

### 3.2 Mængder

Det er afgørende med hvilken hastighed forbindelsen ønskes etableret, og dermed hvor mange fronter, der arbejdes på samtidig. I nærværende notat er det forudsat, at der så vidt muligt ønskes den samme anlægsperiode som for den tilsvarende entreprise på Femern Bælt. Endvidere er det forudsat, at KKØ og

KKV ønskes færdiggjort samtidigt, hvilket opnås ved at påbegynde den mest tidskrævende entreprise først og derefter arbejde parallelt på de to etaper

#### Pladsbehov sænketunnelementer

På baggrund af erfaringerne fra Øresund og forventningerne til Femern tunnelen forventes det, at hver produktionslinje kan producere og aflevere et tunnelement af 217 meters længde på 2 måneder. De planlagte 6 produktionslinjer i Rødby kan således producere alle elementerne til 20 km sænketunnel (Alternativ 2) i løbet af:  $2 \cdot 20000 / (217 \cdot 6)$  måneder = 31 måneder. Hertil kommer naturligvis betydelige perioder både før opstart af produktion og efter produktionen til færdiggørelse af installationer og jernbaneanlæg.

I Alternativ 3 kræves dobbelt så mange tunnelementer, hvilket med den planlagte udbygning i Rødby vil tage 62 måneder, hvorfor det vurderes fordelagtigt at udbygge anlægget til 8 produktionslinjer, så tunnelementerne kan produceres i løbet af  $62 \cdot 6 / 8 = 47$  måneder.

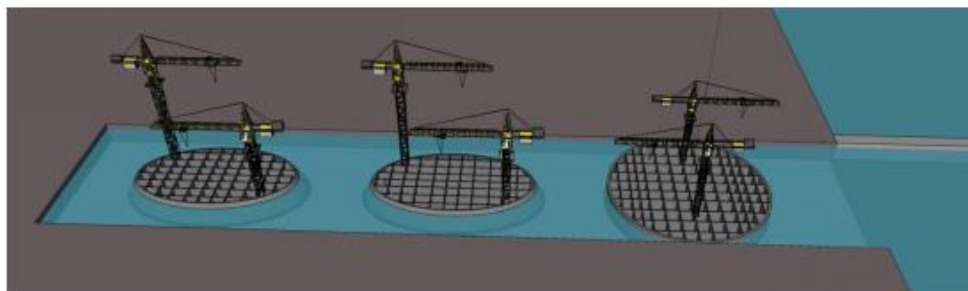
### 3.3 Pladsbehov boret tunnel elementer

Det vurderes ikke at være økonomisk fordelagtigt at ombygge Rødby anlægget til den meget specialiserede produktion af betonelementer til beklædning af en boret tunnel frem for at anlægge arbejdspladsen til produktion og lagring af disse elementer nær indgangen til tunnelen, så de direkte kan læsses på togvogne, der transporterer dem frem til tunnelboremaskinen. Denne løsning var eksempelvis valgt under opførelsen af den borede tunnel under Storebælt.

### 3.4 Pladsbehov broelementer

På baggrund af forundersøgelserne til en Femern Bælt Bro vurderes følgende pladsbehov for Alternativ 1:

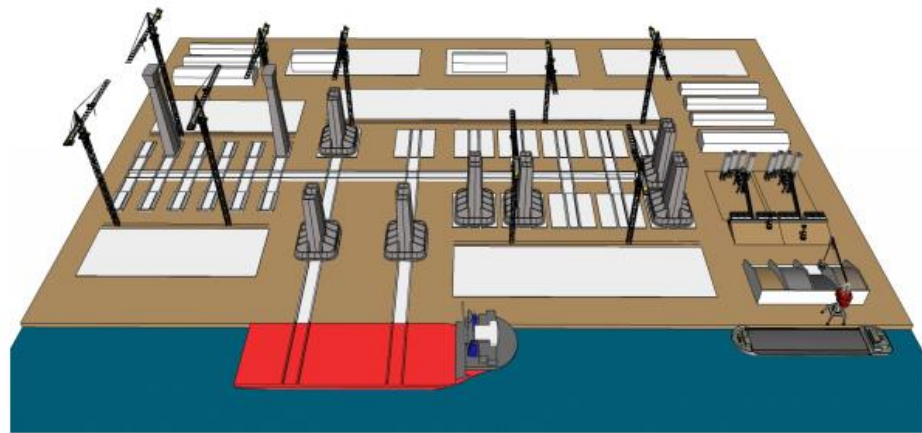
Den nedre del af 3 pylonfundamenter til højbroens gennemsejlingsfag (skråstagsbro) kan produceres i den ene af de 3 tørdokke i Rødby som vist i Figur 3.1. Såfremt gennemsejlingen er en hængebro, er tørdokkens plandimensioner også tilstrækkelige til støbning af 2 pylonfundamenter plus 2 ankerblokke, idet den viste tørdok var den minimale til en Femern Bælt Bro, mens tørdokkene i Rødby er betydeligt længere og bredere.



Figur 3-1. Tørdok med pylon fundamenter for to fags skråstagsbro

Pylonfundamentene (og ankerblokkene) bugseres ud til en plads med tilstrækkelig vanddybde til, at de kan færdiggøres, for eksempel ved Kalundborg Vesthavn. Herefter bugseres de på plads og sænkes ned på en forberedt gruspude, hvorefter der støbes videre på stedet, hvilket næsten ikke kræver arbejdsareal på land, idet betonblandeanlæg og lager af materialer placeres ved den pågældende pylon / ankerblok. På land skal det blot være muligt at præfabrikere armeringsnet til hver ca. 4 m støbning (med klatreform).

Underbygningen til den resterende del af broen mellem Sjælland og Samsø påregnes præfabrikeret, for eksempel i den resterende del af Rødby anlægget efter ændring af de to tørdokke til et plant arbejdsareal i terræn. Det nødvendige areal er vist i Figur 3-2.



Figur 3-2 Præfabrikation af bropiller og deres fundamenter til højbro. Arealbehov ca. 150.000 m<sup>2</sup>

Overbygningen til højbroen (200 m fag) forudsættes fremstillet i stål i et lavprisliland, som faglange elementer med påstøbt øvre betondæk (som Øresundsbroen), hvilket eventuelt kræver en lille arbejdsplads til omladning af to fag ad gangen, færdiggørelsesarbejder og afventning af gunstigt vejrindue. Alternativt som højst 20 m lange sektioner, der sammensvejses på en dansk arbejdsplads, hvorefter betondækket udstøbes, se Figur 3-3. Denne arbejdsplads kan rummes i Rødby anlægget.



Figur 3-3. Samleplads for 200 m højbro fag. Areal behov ca. 520.000 m<sup>2</sup>.

Overbygningen til gennemsejlingsfag og sidefag forventes at blive fabrikeret som ca. 20 m lange stålsektioner, der løftes på plads med en derrickkran på brodækket (skråstagsbro) eller midlertidige hængere (hængebro). Dette kræver eventuelt en begrænset arbejdsplads til lagring af elementer, afhængigt af hvor mange elementer der modtages ad gangen, men hvis elementerne ankommer på en motoriseret pram, kan de direkte løftes fra denne til deres endelige placering.

Underbygningen til lavbroen omfatter dobbelt så mange enheder som til højbroen, men da mængderne per element er meget lavere, vurderes at arbejdsstiden per element er halveret, så et areal af samme størrelsesorden som for højbroen (Figur 3-2) er tilstrækkeligt.

Overbygningen til lavbroen påregnes præfabrikeret som faglange betonkassedragere, fra fagmidte til fagmidte, hvis en løsning som Storebælts Vestbro vælges eller fra bropille til bropille, hvis drageren oplægges på de to bropiller. Alternativt kan de fremstilles som 3-5 m segmenter, der køres ud til en overliggende lanceringsdrager i stål, som fører alle segmenter til et fag frem til deres placering, hvorefter de limes sammen med epoxy og faget forspændes. Uanset valg af produktionsmetode forventes et areal på 150.000 m<sup>2</sup> at være tilstrækkeligt.

I Alternativ 1 vurderes, at hele anlægget i Rødby kan udnyttes, idet 3\*150.000 m<sup>2</sup> (underbygninger og overbygning lavbro) plus 520.000 m<sup>2</sup> (samling af 200 m stålfag), i alt 970.000 m<sup>2</sup> plus en tørdok kan rummes indenfor arbejdsarealet, som skønnes at være på mindst 150 ha, se afsnit 3.5. Der kræves dog en nærmere vurdering af mulighederne for at opdele arealet på passende vis, såfremt to eller flere entreprenører skal arbejde samtidigt.

I Alternativ 2 udnyttes hele Rødby anlægget til produktion af sænketunnelen, men lavbroens under- og overbygning kan også produceres her ved udbygning indenfor VVM redegørelsens rammer.

### 3.4.1 Byggetakt

Det forudsættes at etableringen af en Kattegatforbindelse vil være opdelt i flere kontrakter som arbejder parallelt. F.eks. vil en evt. sænketunnel øst for Samsø skulle udføres samtidig med en bro vest for Samsø.

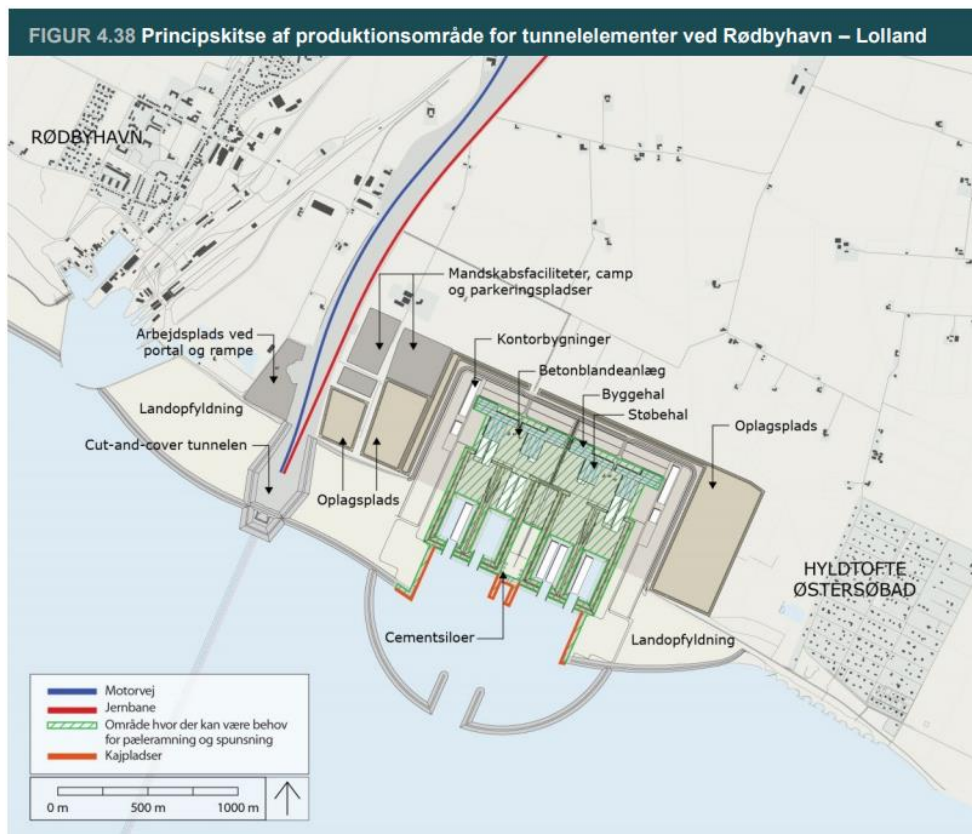
Vurderingen af kapacitet ved udnyttelse af elementfabrikken i Rødby foretages på baggrund af de ovenfor definerede 4 alternativer.

Det er forudsat, at der ønskes omtrent samme byggetakt som på Femern Bælt, idet de angivne størrelser på arbejdspladser er bestemt ud fra Femern Bælts byggetakt. Alternativ 1 og brodelen i Alternativ 2 påregnes således at kunne udføres i løbet af 6 år, hvilket var den dokumenterede anlægsperiode for en Femern Bælt Bro inklusive detailprojektering. I Alternativ 2 vil anlægsperiodens længde således blive bestemt af sænketunnelen.

## 3.5 Data

Femernforbindelsens elementproduktionsplads i Rødby forventes at blive etableret fra januar 2021 til udgangen af 2022, hvorefter tunnelelementerne produceres i de følgende 2,5 år.

Det overordnede layout fremgår af kortskitsen i Figur 3-1. Denne stammer fra VVM undersøgelsen. Det skønnes, at reduktionen fra 8 til 6 produktionslinjer ikke har medført en reduktion af arealet til under  $2000 \text{ m} \times 750 \text{ m} = 150 \text{ ha}$ . Den ene produktionslinje til special-tunnelelementer må have en vanddybde på omkring 15 m ved udsejling.



Figur 3-1 Principskitse af elementfabrikken i Rødby fra VVM-undersøgelsen

### 3.6 Elementfabrikkens egnethed for anvendelse til Kattegat

#### 3.6.1 Sænketunnel

Til produktion af sænketunnelelementer til Kattegat vil faciliteterne i Rødby være særdeles velegnede, idet Femern-tunnelens elementer er af samme størrelse, som vil blive brugt til en Kattegatforbindelse. Der foreslås således at anvende ca. samme længde af tunnelelementerne på 217 m.

Ved Femern Bælt var en medvirkende grund til at anlægge arbejdspladsen i Rødby, at man ville undgå risikoen ved en længere søtransport fra Polen, idet risikoen ved bugsering er en størrelsesorden højere end ved søtransport ved egen kraft. Forholdene omkring søtransporterne skal vurderes nøjere i en kommende fase, herunder om det vil være sikrere at sejle gennem Øresund frem for T-ruten.

Der må påregnes en vis opgradering af formmateriel, dels som følge af slitage og dels som følge af eventuelle mindre justeringer i designet, for eksempel i tilfælde af et andet valg end 4+2.

### 3.6.2 Elementer til boret tunnel

Det vurderes som omtalt ovenfor ikke at være fordelagtigt at anvende Rødby anlægget til dette.

### 3.6.3 Elementer til broer

Dybden af tørdokken i Rødby er utilstrækkelig til færdiggørelse af pylonfundamenter og eventuelle ankerblokke, hvorfor der må etableres en kaj på tilstrækkelig vanddybde i nærheden af brostedet, hvortil elementerne bugseres ud og forankres, så den øverste del af elementerne kan udstøbes. Denne fremgangsmåde blev også anvendt ved pylonerne til Canakkale hængebroen i Tyrkiet.

Øvrige fundamenter og piller påregnes skubbet ud på en motordrevet pram to ad gangen som antydnet i Figur 3-2. Ved lavbroen på lav vanddybde kan piller støbes direkte på fundament i Rødby, men i alle andre tilfælde støbes de hver for sig og sammenstøbes efter placering i brolinjen som på Øresundsbroen. Støbeskellet placeres tilstrækkeligt højt til at undgå bølgesprøjt ("above the splash zone").

Som omtalt ovenfor påregnes bro-overbygninger også produceret i Rødby i Alternativ 1. Brofagene til lavbroen kan enten gå fra fagmidte til fagmidte (som Storebælts Vestbro) eller fra bropille til bropille (med konstant dragerhøjde). Alternativt 3-5 m segmenter, der samles med epoxy lim i brolinjen.

Fordelene ved at anvende Rødby til fabrikation af broelementer er:

- Arealet er eksproprieret.
- Den godkendte VVM-undersøgelse for anlægget kan lettere fornyes eller udvides til at gælde den nye produktion frem for at udarbejde en helt ny VVM for et nyt areal.
- En af de seks produktionslinjer (den der anvendes til special-tunnelementer) er velegnet til produktion af den nederste del af pylon (og ankerblok) fundamenter (Alternativ 1)
- Det vurderes at være billigere at opfylde tørdokke end at erhverve grund og planere, anlægge arbejdsveje og fremskaffe el, vand og gas. Kajanlæg i forbindelse med præfabrikationspladser koster det samme uanset hvor anlægget ligger.
- Anlæg til lagring af materialer til beton og betonblandeanlæg i Rødby er mere end rigelige til produktion af broelementer.
- I Alternativ 2, hvor tørdokkene er udnyttet til tunnelen, fås fordelene ved etableret infrastruktur og forsyning af el, vand og gas.
- Udgiften til en motoriseret pram til transport af de mange elementer fra Rødby til brostedet er ikke væsentlig. Hvis elementerne produceres nær



brostedet, kunne denne pram undværes, idet flydekranen kunne hente elementerne og transportere dem til brostedet, som det blev gjort på Øresundsbroen.

## 4 Andre potentielle pladser

Nærværende fagnotat behandler ikke en egentlig screening af egnede alternative lokaliteter for en elementproduktion; men alene behovet for alternative pladser, samt nogle betragtninger vedrørende muligheder, som synes værd at undersøge nærmere i en senere fase.

### 4.1 Behov for ekstra produktionspladser

Der vil være brug for alternative pladser, hvis fabrikken i Rødby af en eller anden grund ikke kan/må anvendes, eller hvis kapaciteten er utilstrækkelig, således at der skal findes en anden plads til en supplerende produktion. Her betragtes alene sidstnævnte tilfælde.

Alternativ 2 indeholder både bro og tunnel. Hvis det samlede anlæg skal kunne opføres inden for en overskuelig årrække, vil det være nødvendigt med en parallel produktion af bro- og tunnelelementer. Da produktionen af tunnelelementer vil lægge beslag på den fulde kapacitet i Rødby, må anlægget udbygges eller der må findes en anden produktionsplads til lavbro elementer.

Forundersøgelserne til en Femern Bælt Bro indeholdt en screening af potentielle præfab-pladser i Danmark og Polen. Der henvises til Femerns screeningsrapport vedrørende mulige produktionspladser. Denne rapport omhandler fordele og ulemper for pladser til produktion af sænketunnelelementer, hvorfor dens anbefalinger ikke umiddelbart gælder for arbejdspladser til broer.

### 4.2 Andre muligheder

Følgende muligheder bør undersøges nærmere i en senere fase, såfremt Rødby anlæggets kapacitet begrænses:

- > Masnedø (arbejdsplads anvendt til ny Storstrømsbro; dog tvivlsomt om pladsen vil henligge ubenyttet, indtil Kattegat forbindelsen påbegyndes)
- > Lindø (muligvis problem med snæver indsejling, dog mindre problem for bro end for tunnel)
- > Kalundborg Vesthavn (risiko for krav om støjbegrænsning og dermed korte arbejdsdage på grund af nærliggende boliger)
- > Aarhus Havn (ikke vurderet i screeningsrapport)
- > Grenå Havn (ikke vurderet i screeningsrapport)
- > Nyborg Havn (ikke vurderet i screeningsrapport).